

Bachelorgradsoppgave

Utveckling av $VO_{2\max}$ vid traditionell längdskidåkningsträning i förhållande till en polariserad regim med långa intervaller vid I4 och lång total dragtid.

Linnea Lina Hultin

KIF350

Bachelorgradsoppgave i idrett

Kroppsøving og idrettsfag, faglærerutdanning,
bachelorgradsstudium

Våren 2013



Avdeling: Meråker

Sammandrag

Linnea Lina Hultin: Utveckling av VO_{2max} vid traditionell längdskidåkningsträning i förhållande till en polariserad regim med långa intervaller vid I4 och lång total dragtid. Bacheloroppgave i Idrett, Høgskolen i Nord-Trøndelag, Idrettstudiene i Meråker s.1-21. 27.05 2013. Syftet med denna studie var att testa om VO_{2max} utvecklas bäst genom en traditionell uthållighetsträningsmodell med träning av anaerobtröskeln vid I3 kombinerat med intervall vid I5 i förhållande till en polariserad regim med långa intervaller vid funktionell tröskel, I4, med en samlad dragtid på 40-60 min. Urvalet bestod av 12 kvinnliga längdskidåkare (ålder, 20 ± 2 år, maximalt syreupptag (VO_{2max}) $59,1 \pm 4.3 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$), tävlades på nationell nivå. Försöksgruppen (FG, $n=6$) genomförde en träningsintervention på 8 veckor med 3 intervallpass i veckan bestående av långa intervaller (6-15 min) vid funktionell tröskel (87-92% av maximal hjärtfrekvens (HF_{max})) med en samlad dragtid på 40-60 min. Dessa intervallpass genomfördes med tidtagning i en varvrunda där fokus skulle ligga på att hålla en så jämn snitthastighet eller tid per runda som möjligt på alla dragen. En kontrollgrupp (KG, $n=6$) tränade utefter ett standardprogram bestående av vanlig traditionell längdskidsträning under säsong med träning av anaerobtröskeln vid (82-87 % av HF_{max}) kombinerat med intervall vid (92-97% av HF_{max}). Utövarna blev testade före och efter träningsperioden genom ett VO_{2max} -test i löpning på löpband. Efter träningsinterventionen hade FG förbättrat sitt VO_{2max} , litervärde, löpindex och skidindex med $4.0 \pm 6,7 \%$, $0.19 \pm 5 \%$, $10.8 \pm 6,4 \%$ $13.7 \pm 6 \%$, respektive, från post- till pretest (alla med $p < 0.01$) medan KG testvärden var oförändrade. Enligt hypotesen, indikerar data från denna studie att en polariserad regim med långa intervaller vid funktionell tröskel är mer effektiv i att förbättra VO_{2max} än vanlig traditionell uthållighetsträning hos kvinnliga längdskidåkare.

Nyckelord: Aerob kapacitet, maximalt syreupptag, långintervall, längdskidåkning

Teori

Det råder allmän enighet om de fysiologiska komponenter som är med på att bestämma individuella skillnader i prestationer inom uthållighetsidrotter såsom längdskidåkning (Åstrand & Rodahl 2003; Saltin 1990; Rusko 2003; Pate & Kriska 1984; Bunc & Heller 1989; Di Prampero et al. 1986; Helgerud 1994; Basset & Howley 2000; Hoff et al. 2002; Coyle 1995; Hawley & Stepto 2001). Dessa tre huvudkomponenter är: Maximalt syreupptag (VO_{2max}), Anaerob tröskel (AT), och arbetsekonomi.

Men debatten angående hur den dagliga träningsprocessen skall organiseras för att på bästa sätt utveckla dessa komponenter och förbättra prestationer fortsätter. Av de viktigaste träningsvariablerna är träningsintensitet, varighet och sin distribution mest debatterat. Förbättring av VO_{2max} är direkt kopplade till intensitet, varighet och träningsfrekvens (Pollock 1977; Wenger & Bell 1986).

Den minsta träningsintensiteten för förbättring av VO_{2max} och LT verkar vara

omkring 55-65% av maximal hjärtfrekvens (HR_{max}) (Åstrand & Rodahl 2003).

En normal ökning av VO_{2max} är $2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ per år är en genomsnittlig framgång för många utövare om man ser över en 5-10 års period med traditionell uthållighetsträning (Rusko 1987).

Uthållighetsidrottare tränar som oftast efter en träningsmodell med en hög volym av lågintensivträning och ett moderat innehåll av högintensiv träning (Esteve Lanao et al 2007; Fiskerstrand & Seiler 2004; Seiler 2010).

Denna träningsmodell har används av framgångsrika längdskidåkare genom årtionden (Gaskill 1988; Gaskill et al. 1999; Sandbakk et al. 2011; Seiler & Kjerland 2006), med deras prestationer tätt sammankopplade med VO_{2max} och VO_2 vid AT (Ingjer 1991; Joyner & Coyle 2008; Laursen & Jenkins 2002; Sandbakk et al. 2011; Larsson et al 2002).

Maximalt syreupptag

VO_{2max} är troligtvis den enskilt viktigaste faktorn som bestämmer framgång i aeroba uthållighetsidrotter (Åstrand & Rodahl 2003; Rusko 2003; Saltin 1990 m.fl).

Vid maximal ansträngning är VO_{2max} till största delen begränsad av syretillgången i muskeln och hjärtminutsvolymen (Wagner 1996).

Skillnader mellan längdskidåkare på olika nivå förklaras med skillnad i VO_{2max} (Ingjer, 1991) och VO_{2peak} , som rent överkroppsarbete (Wisløff och Helgerud 1997). VO_{2max} är avhängig specificitet i träning (Strömme et al. 1977).

Mätningar av syreupptag på skidåkare under tävlingssituation i distanslopp har visat att de använder omkring 90% av VO_{2max} vid relativt korta lopp och 82% vid långa lopp (Hoffmann & Clifford 1991).

De faktorer som är med på att begränsa syretransporten är som oftast delade i två, centrala och perifera. De påverkar varandra då hjärtats slagvolym (SV) reduceras genom ökat perifert motstånd (Shepard 1990; Sutton 1992).

Den mesta av litteraturen hävdar att hjärtats SV ökar linjärt upp till ca 50 % av VO_{2max} . Där når SV en plåtå eller stiger bara moderat (Higginbotham et al. 1986).

Men nyare studier som Zhou et al. (2001) har dock påvisat att hos vältränade utövare kan SV stiga kontinuerligt helt upp till VO_{2max} .

Flera undersökningar (Clausen 1976; Saltin et al. 1976) har visat att VO_{2max} och uthållighetsprestation avhänger förmåga till att reducera motståndet mot blodströmmen genom musklerna.

Helgerud et al. (2007) hävdar att ökning av VO_{2max} är en direkt funktion av en ökad SV som resulterar i en förbättrad arbeteekonomi.

Anaerob tröskel

Åstrand & Rodahl (2003) definierar AT som; den högsta arbetsintensitet, puls, VO_2 och laktatkonzentration i blodet (La_{bl}^-) där det är likavikt mellan produktion och elimination av mjölksyra.

AT förändras som en respons till träning med förändringen av VO_{2max} och ibland även som den procentuella andelen av VO_{2max} (Helgerud et al. 2001; Mcmillan et. al 2005; Pate och Kriska 1984).

Det betyder i praktiken att tiden fram till utmattning reduceras från 60 min till 15 min om en utövare har en arbetsbelastning bara ½ km/h över AT (Åstrand & Rodahl 2003).

Aktivitetsformen har betydelse för hur stor den inre intensiteten (HF_{max} , VO_2 och La_{bl}^-) vid AT är (Frøyd et al. 2005). Skillnaderna är mycket större i laktat än i hjärtfrekvens (Borg et al 1987).

Det finns forskning på att det bättre korrelation mellan AT och prestation i tävlingar mellan 3-90 km i löpning än prestation och VO_{2max} (Farrell et al. 1979; Jooste et al 1981 mfl).

Ett värde på $4,0 \text{ mmol} \times 1^{-1}$ anses av Olympiatoppen (Frøyd et al. 2005) vara den högsta koncentrationen av laktat där det är likavikt mellan elimination och produktion av La^- något de menar skall vara möjligt att upprätthålla vid en bestämd yttre hastighet i 40-50 min vid 80-87 % av VO_{2max} , benämnt som arbete vid Intensitetszon nummer 3 (I3) även kallad tröskelträning (Frøyd et al.2005).

Träning vid I3 påstås av Olympiatoppen vara en av de viktigaste intensitetszonerna för utveckling av aerob kapacitet (Frøyd et al. 2005).

Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA), även kallat funktionell tröskel blir definierat som arbete vid 87 -92% av VO_{2max} och är ett steady state (stabil arbetsbelastning) Vid detta läge överstiger inte produktionen eliminationen av LA^- och LA^- hopas inte upp i musklerna. (Katch et al. 2011). Träning i OBLA är något som kan tillsvaras vid Olympiatoppens I-zon 4 (87-94 % av VO_{2max} eller 87-92% av HF_{max}) där utövaren hävdas utveckla både den aeroba kapaciteten och arbeteekonomin, då farten ligger nära tävlingsfart i de flesta idrotter (Frøyd et al. 2005). Över OBLA uppstår en obalans mellan laktatproduktion och elimination . Den exakta orsaken till OBLA är kontroversiell. Obalansen är inte ett resultat av muskelhypoxi, snarare tvärtom

kan det bero på reducerad laktatförbruk totalt eller ökad laktatproduktion som ett resultat av till exempel rekrytering av snabba muskelfibrer (fibertyp II, IIB). (Katch et al. 2011).

La_{bl}^- ska i I4 zonen ligga mellan 4.0-6.0 mmol $\times 1^{-1}$, arbetsförhållanden en utövare enligt Frøyd et al (2005) skall kunna arbeta under i 30-50 min.

Mätningar av La_{bl}^- under och i slutet av längdskidtävlingar har visat på värden mellan 5 och 18 mmol $\times 1^{-1}$ (Mygind et al. 1994).

Arbetsekonomi

Blodströmmen genom en arbetande muskel blir bestämt av flera olika förhållanden som konkurrerar mot varandra (Åstrand & Rodahl 2003; Shepard 1990).

Själva muskelkontraktionen ökar trycket i muskeln vilket kan klämma av blodkärlen. Blodströmmen är avhängig blodkärlets radie upphöjt i 4 (r^4). Vissa blodkärl till muskler avkläms redan vid 20% av 1 RM (Shepard 1990).

I praktiken blir det därför viktigt med mikropauser, lägre kraftbruk och att undvika statiskt arbete för att 1) inte begränsa perifer syretransport och 2) undvika reducerad slagvolym (Åstrand & Rodahl 2003).

Längdskidåkning är en acyklisk aktivitetsform där byte av teknik, terräng, fart og fysiologiska övergångar gör det möjligt att ta i bruk olika muskler (Holmberg 2009). Detta kan vare förklaringen till att La_{bl}^- kan ha så höga värden i längdskidåkning jämfört med löpning (Torvik 2000).

Även om en högt VO_{2max} verkar vara nödvändigt för uthållighetsidrottaren är detta ingen garanti för succé i skidspåret. Atleten måste alltså även kunna utnyttja en stor del av sin VO_{2max} genom hela tävlingen, ha en hög AT, ett högt VO_2 vid AT, kunna hålla en hög hastighet vid AT, ha en bra arbetsekonomi och en stor andel av långsamma muskelfibrer (Mahood et al 2001).

Träningens intensitet och dess distribution

Flera studier (Gaskill 1999; Laursen & Jenkins 2002; Sandbakk et al. 2011) har visat att en ökning av mängden aerob högintensiv träning är effektiv för att förbättra aeroba egenskaper och förbättra uthållighetsprestationer hos vältränade uthållighetsidrottare.

Fleratlet studier (Thomas et al. 1984; Rognmo et al. 2004; Helgerud et al. 2007; Wenger & Bell 1986; Billat 2001) understryker att högintensiva aeroba intervaller (80-95 % VO_{2max}) ökar hjärtats

minutvolym, $VO_{2\max}$ och prestationer i uthållighetsidrotter som längdskidåkning mer än kontinuerlig lågintensiv (eller moderat) träning (55-65 % $VO_{2\max}$) gör. De fann även att intensiteten av träningen inte kunde kompenseras med längre varaktighet.

Det har därför föreslagits att en ökning av träningens intensitet är den viktigaste faktorn för en fortsatt förbättring av prestation hos uthållighetsidrottare (Laursen & Jenkins 2002).

Vidare, manipuleringen av både intensitet och varaktighet inom de högintensiva träningssessionerna kan spela en viktig roll för uthållighetsadaptationerna (Gaskill 1988; Seiler 2010).

Seiler & Kjerland (2006) föreslår två huvudmönster i distribution av träningsintensitet. Tröskelträningssmodellen härstammar från ett flertal studier (Kindermann et al 1979; Denis et al 1984; Londeree 1997; Gaskill et al. 2001) som visar på signifikanta förbättringar bland otränade utövare genom träning vid en intensitet kring, eller direkt på utövarnas laktattröskelnivå.

I kontrast till detta mynnar en polariserad träningsmodell ut från ett begränsat antal publicerade studier gjorda på roddare, trailcyklister och maratonlöpare av

internationell klass (Steinacker 1993; Steinacker et al 1998; Schumacker & Mueller 2002; Billat et al 2001). Dessa studier hävdar att dessa högpresterande atleter generellt tränar på en intensitet under laktattröskeln 75% av träningssessionerna, 15-20 % på en intensitet klart över laktattröskel men överraskande nog väldigt lite vid en intensitet kring laktattröskeln (Seiler & Kjerland 2006). Frågorna kvarstår dock fortfarande huruvida vilken intensitet som är optimal för att utveckla hjärtminutvolymen och $VO_{2\max}$. Små förändringar i intervallernas intensitet är associerad med stor ökning av utmattningsnivå som leder till minskning i toleransnivå av varaktighet i träningstid i högintensiva intervallträningar (Seiler 2010, Seiler et al. 2011).

Billat (2001) drar slutsatsen att det inte är känt om 16 minuter vid 95 % av HR_{\max} eller 40 minuter vid 90 % av HR_{\max} är mest effektivt. Gjerset (2006) hävdar att träningen av de perifera faktorerna sker bäst omkring AT, ca 85-90 % av HF_{\max} för vältränade utövare.

Seiler et al. (2011) fann att 32 minuters arbete vid 90 % av HF_{\max} ledde till en större förbättring av de aeroba egenskaperna än vad 16 minuter vid 94% av HF_{\max} hos motionscyklister. Resultat liknande dessa återstår för forskningen att

finna hos vältränade idrottsutövare menar Sandbakk et al. (2012) som fann i sin studie med manliga och kvinnliga juniorskidåkare att både intervaller vid en hög intensitet (85-92 % av HF_{max}) under längre tid (5-10min i 40-45 min) och kortare intervaller (2-4 min i 15-20 min) med en högre intensitet (>92 % av HF_{max}) gav effekt på VO_{2max} men att intervaller med en lång varighet var mest effektiv i att förbättra uthållighetsprestationer och syreupptag vid ventilationströskeln (VO_{2VT}).

Helgerud et al. (2007) konkluderade i sin studie att både 15/15sek intervaller och 4x4min intervaller, vid 90-95% av HF_{max} , förbättrade VO_{2max} hos otränade män, men rekommenderar utövare att använda sig av längre intervaller som ex. 4min för att förbättra VO_{2max} .

Sandbakk et al. (2012) indikerar att det kan vara fördelaktigt för uthållighetsidrottare att minska intensiteten något samtidigt som intervallens varaktighet förlängs. Samtidigt understryker Sandbakk et al. (2012) att vidare forskning krävs inom detta område på olika grupper av atleter.

Rusko (2003) visade på en ökad aerob förmåga hos finska längdskidåkande juniorer med en ökande frekvens av högintensiva pass, däremot, nådde det sin kulmen med 3 sessioner av högintensiv

träning per vecka medan Wenger och Bell (1986) och Thomas et al. (1984) kom fram till att det verkar som om att 4 högintensiva träningar i veckan ger mest ökning i VO_{2max} ,

Det finns få studier där träningsprotokoll av olika intensiteter har blivit sammankopplat med total belastning och frekvens. Kortare studier har genomförts men då med enbart otränade försökspersoner (Laursen & Jenkins 2002).

Litteraturen har även problem med att fastställa signifikanta skillnader i fysiologiska parametrar mellan olika åldersgrupper (över puberteten) och kön i prestationsanpassade grupper (Åstrand & Rodahl 2003; Helgerud et al.1990).

Män har genomsnittligt högre VO_{2max} än kvinnor, orsaker bakom detta är enligt Clausen (1976) kvinnors fettprocent och mäns högre koncentration av hemoglobin i blodet. Andra faktorer som påverkar är syretransportsystemets dimension (höftvidd) och kroppens mängd muskulatur och 1RM i förhållande till kroppsvikt (Åstrand et al. 2003).

Erfarenheter hos en rad tränare och utövare vittnar om att många mindre succéfulla utövare inte har framgång på VO_{2max} till trots för försök med stora träningsmängder och polariserade upplägg med mycket hög intensitet. Forskare (Bouchard &

Rankinen 2001; Timmons 2011; Gaskill et al. 1999) understryker att det finns variationer i respons på träning hos individer, så det är högst lite troligt att en typ av träningsmodell skulle vara optimal för alla utövare. Till trots för att studier som Seiler et al. (2011) har funnit att 32 minuters arbete vid 90 % av HF_{max} ledde till en större förbättring av de aeroba egenskaperna än vad 16 minuter vid 94% av HF_{max} hos motionscyklister och Sandbakk et al. (2012) visar på att långa intervaller vid en hög intensitet (85-92 % av HF_{max}) är mer effektiv i att förbättra uthållighetsprestationer och syreupptag vid ventilationströskeln (VO_2VT) än vad kortare intervaller (2-4 min i 15-20 min) med en högre intensitet (>92 % av HF_{max}) gör hos juniorlängdskidåkare, finns det ingen forskning på hur polariserade långintervaller (6-15 min, 40-60 min dragtid) vid funktionell tröskel (I_4) påverkar VO_{2max} hos kvinnliga längdskidåkare på nationell nivå.

Problemställning

Utvecklas VO_{2max} bäst vid träning av anaerobtröskeln vid I_3 kombinerat med intervall vid I_5 i förhållande till en polariserad regim med långa intervaller, 6-15 min, vid funktionell tröskel, I_4 , med en samlad dragtid på 40-60 min?

Metod

Innan projektet satte igång samlades försökspersonerna där kriterier för deltagande gicks igenom. Deltagande i projektet var frivilligt och deltagarna kunde dra sig ur när som helst. All data blir presenterat anonymt.

Försökspersoner

Studiens försökspersoner (FP) bestod av 2 grupper med 6 stycken kvinnliga längdskidåkare från Norge och Sverige, alla med en god träningsbakgrund. Försöksgruppen (FG) hade i genomsnitt en ålder av 21 ± 1 år, längd på 164 ± 3 cm, vikt på $64,6 \pm 4,5$ kg, $59,2 \pm 3.62$ i VO_{2max} och ett litervärde på $3,82 \pm 0.36$. De hade FIS punkter från 122,21 till 317,77 och ett snitt av 193,8. FG har genomfört tester av VO_{2max} tidigare under året i Maj och September där testvärdena har visat samma resultat som i November då posttestet i detta projekt genomfördes.

Träningen som genomfördes av FG innan posttestet var av samma modell som Kontrollgruppen (KG) i detta projekt tränade efter.

KG hade i genomsnitt en ålder av 18 ± 0 , längd på 168 ± 3 cm, vikt på $62,7 \pm 5.5$ kg, $59,1 \pm 5.2$ i VO_{2max} och ett litervärde på $3,7 \pm 0.2$. De hade FIS punkter från 173,40 till 356,45 och ett snitt av 267,7.

Testprocedur

Undersökningen pågick under 8 veckor med testning av VO_{2max} före och efter perioden. FG tränade efter en polariserad regim där intervallpassen skulle genomföras med 87-92% HF_{max} med draglängder mellan 6-15 min med aktiv återhämtning mellan i max 1-2 min. Den effektiva intervalltiden (exklusive pauser) skulle vara mellan 40-60 min och intervalldragen skulle genomföras med tidtagning i en varvruna där fokus skulle ligga på att hålla så jämn snitthastighet eller tid per runda som möjligt på alla dragen. I tillägg var FG inne i tävlingssäsong under testperioden med tävlingslopp med tävlingstid alltifrån 3 min upp till 1 timme och mer. Vid dessa tillfällen fick FP i FG uppdrag att hålla jämna varvtider.

Varje vecka skulle innehålla i snitt 3 intervallpass, ett snabbhetspass och ett styrkepass. Efter varje intervallpass skulle ett återhämtningspass på 1,15–1,30 h genomföras med en intensitet på 55-65% av HF_{max} .

FG2 tränade efter ett standardprogram bestående av vanlig traditionell längdskidsträning under säsong med träning av anaerobtröskeln vid intensitet 3 (82-87 % av HF_{max}) kombinerat med

intervall vid intensitet 5 (92-97% av HF_{max}).

Testprocedur och material

Vid testningen av VO_{2max} användes O_2 mätaren Jaeger Oxycon Pro (Tyskland), löpbandet Rodby RL2500E (Sverige) och pulsklockor från Polar modell RS800 (Finland).

Testpersonerna vägdes innan testets början med skor av och det drogs ifrån ett halvt kilo för kläder. Testpersonerna värmdes upp i 15 min på 7 km/h så att de uppnådde 70 % av HF_{max} och då testet startade var lutningen på 10% och farten var 8 km/h. För varje minut ökade farten gradvis med 1 km/h per minut. Testet ansågs vara av maximal ansträngning om 2 krav var uppnådda och dessa var att försökspersonens O_2 upptag inte ökade i takt med att belastningen ökade utan nådde en plåtå av VO_{2max} och att respiratory exchange ratio var över 1.10. O_2 upptaget mättes kontinuerligt och genomsnittet av de 3 högsta 10-sekunders mätningar i rad bestämde VO_{2max} . Det högsta uppnådda värdet av HF under testet definierades som HR_{max} . I rummet där testet föregick var det ca 18 grader varmt och luften hade en blandning av ca 21% O_2 och ca 0,03% CO_2 . Alla försökspersoner hade genomfört ett liknande test som detta på löpband tidigare.

Efter denna 8 veckors träningsperiod testades FP på nytt med samma testprocedur och material som presenterats tidigare. För att minimera skillnader inom de enskilda FP genomfördes testet vid samma tidpunkt under dagen med en fasta på en timma innan testet. Utövarna avstod även från träning, alkohol och koffein 24 timmar innan testet. De utövare som hade hälsorelaterade problem under studiens gång fick avsluta sitt deltagande och dess data inkluderades inte in i slutresultatet. Lättare förkylning som ledde till avbrott i träningsarbetet medförde en förlängning av testperioden så att alla FP genomförde totalt 8 veckors träningsarbete efter plan.

Analys av data

Data blev lagt in och analyserat i Excel (Microsoft Excel 2010). För att finna om det fanns några statistiska skillnader genomfördes en students t-test. Vid alla tillfällen användes $P \leq 0.05$ som signifikant i (two-tailed) test. Alla resultat är presenterades som genomsnitt \pm SD. Data är framställt i tabeller med resultat av VO_{2max} tester och karaktärsdrag före och efter testperioden och med översikt över genomförd träning.

Resultat

De kvinnliga FP i denna undersökning förbättrade VO_{2max} med 6,7 %, medan

Kontrollgruppen inte hade någon förbättring av VO_{2max} under samma period. Grupperna tränade en signifikant olik mängd träning i I4 zonen.

Tabell 1 visar genomsnittligt träningsinnehåll för FP fördelat på 1 vecka utifrån en 8 veckors träningsintervention som genomfördes av 6 kvinnliga längdskidåkare

	FG (n= 6)	KG (n= 6)	
INT1	06:49 \pm 1:38	08:21 \pm 1:41	p < 0.13
INT2	01:31 \pm 0:55	0:33 \pm 0:19	p < 0.05**
INT3	0:10 \pm 0:10	0:15 \pm 0:03	p < 0.299
INT4	1:13 \pm 0:17	0:21 \pm 0:05	p < 0.01***
INT5	0:27 \pm 0:09	0:15 \pm 0:04	p < 0.05**
Total	10:42 \pm 1:16	10:35 \pm 2:02	p < 0.754

FG= Försöksgrupp; KG= Kontrollgrupp; INT= 60-72 % av maximal hjärtfrekvens (HF_{max}); INT2= 72-82 % av HF_{max} ; INT3= 82-87 % av HF_{max} ; INT4= 87-92 % av HF_{max} ; INT5= 92-97 % av HF_{max} ; Total= total träning inklusive aerob träning, generell styrka, maximal styrka, spänst och hurtighet. Värdena anges i timmar: minuter (genomsnitt \pm SD).

**Data visar en statistisk signifikant nivå på p < 0.05

***Data visar en statistisk signifikant nivå på p < 0.01

Tabell 1 visar att det inte var någon statistisk signifikans (p < 0.754) i total träningsmängd mellan FG och KG.

Däremot visas en skillnad av träningsinnehåll mellan grupperna. Störst differens återfinns i INT4 (p < 0.01) där FG genomsnittligt tränat 52 min mer i I4 zonen under en genomsnittsvecka än KG i försökperioden. Detta innebär att FG tränade totalt under dessa 8 veckor 9 timmar och 44 minuter i I4 zonen jämfört med KG som genomförde 2 timmar och 48 min, FG hade alltså 348 % mer träningsstid i I4 zonen än KG.

I tabell 1 återfinns även en statistisk signifikant skillnad mellan grupperna ($p < 0.05$) av träningsmängd i INT2. FG tränade nästan exakt 1 timme mer än KG i denna zon under en vecka. Detta utgör sammanlagt 8 timmar mer träning under 8 veckor. Träningsmängden i INT5 visar sig också skilja mellan FG och KG ($p < 0.05$) där FG genomfört 12 minuter mer träning i denna zon än KG. Under hela träningsinterventionen innebär det att FG tränade 3 timmar och 36 minuter I5 jämfört med KG som genomförde exakt 2 timmar i samma zon. En skillnad på sammanlagt 1

timme och 36 minuter över 8 veckor som enligt tidigare forskning (Helgerud et al. 2007) är en för liten mängd av träning i INT5 för att kunna förklara skillnad i förändring av VO_{2max} mellan grupperna då försökspersonerna i Helgerud et al. studie (2007) tränade hela 49 min i INT5 per vecka i 8 veckor.

I övrigt påträffas ingen statistiskt signifikant skillnad i träningsmängd mellan FG och KG i INT1 och INT3.

Tabell 2: Visar förändringar i fysiologiska parametrar hos 12 kvinnliga längdskidåkerskor från pre- och posttest under ett träningsförsök på 8 veckor.

	FG (n = 6)		KG (n = 6)	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
VO_{2max}				
($L \cdot min^{-1}$)	3.82 ± 0.36	$4.01 \pm 0.33^{***}$	3.68 ± 0.2	3.7 ± 0.23
($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	59.2 ± 3.62	$63.2 \pm 4.0^{***}$	59.1 ± 5.2	60.0 ± 5.0
($mL \cdot kg^{-0.75} \cdot min^{-1}$)	167.8 ± 10.7	$178.6 \pm 11.2^{***}$	165.9 ± 11.4	168.3 ± 11.3
($mL \cdot kg^{-0.67} \cdot min^{-1}$)	234.1 ± 15.3	$247.8 \pm 14.5^{***}$	230.8 ± 14.6	234.0 ± 14.7
HR max (bpm)	194 ± 13	196 ± 11	199 ± 7	197 ± 6
$V_E (L \cdot min^{-1})$	128.3 ± 8.7	129.4 ± 10.5	127.5 ± 13.5	128 ± 10.3
RER	1.12 ± 0.06	1.12 ± 0.04	1.15 ± 0.03	1.15 ± 0.04
Vikt (kg)	64.6 ± 4.5	63.8 ± 4.3	62.7 ± 5.5	62.2 ± 5.4
Test tid (min:sek)	$5:39 \pm 27$	$5:44 \pm 33$	$5:27 \pm 55$	$5:22 \pm 51^\dagger$

Värdena anges i genomsnitt \pm SD. FG= Försöksgrupp ; KG Kontrollgrupp.

† total löptid under VO_{2max} test (prestation tid och löphastighet).

***Data visar en statistisk signifikant nivå på $p < 0.01$

Testresultaten i tabell 2 visar att FG hade en statistiskt signifikant förbättring ($p < 0.01$) av VO_{2max} ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) med 4 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ från pre- till posttest. Statistiskt sett hade KG ingen signifikant

($p < 0.2012$) skillnad i VO_{2max} under samma period. FG och KG hade båda statistiskt oförändrad vikt. Litervärdet ($L \cdot min^{-1}$) hos FG hade en signifikant förbättring ($p < 0.01$). Testresultaten visar en förbättring

från pre- till posttest på $0.19 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, en procentuell förbättring på 5 %. Även ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{min}^{-1}$) och ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-0.67} \cdot \text{min}^{-1}$) hade en statistiskt signifikant ($p < 0.01$) förbättring för FG. Löpindex förbättrades med 6,4 % och skidindex med 6 %. Hos KG återfinns ingen statistisk signifikant förändring av något av dessa värden (Litervärde, Löpindex och Skidindex).

Den totala löptiden under $\text{VO}_{2\text{max}}$ testerna (Test tid) visade inte på någon statistisk signifikant skillnad hos varken FG eller KG. Dock går det att utläsa att FG klarade av att springa i genomsnitt 5 sekunder längre på löpandet på posttestet jämfört med pretestet medan KG minskade sin totala löptid på $\text{VO}_{2\text{max}}$ testet med i genomsnitt 5 sekunder från pre- till posttest.

Vidare återfinns ingen statistiskt signifikant förändring hos någon av grupperna i varken HR_{max} , V_E eller RER något som indikerar att $\text{VO}_{2\text{max}}$ uppnåddes med samma kriteriebas i både pre- och posttest.

Diskussion

Syftet med detta forskningsförsök var att se om en polariserad träningsmodell med långa intervaller med en dragtid på 40-60 minuter vid funktionell tröskel, I4, var mer effektiv i att förbättra $\text{VO}_{2\text{max}}$ än en mer traditionell träningsmodell där träning av

AT genomförs vid I3 och intervaller vid I5, för kvinnliga längdskidåkare på nationell nivå.

Studien presenterar resultat av $\text{VO}_{2\text{max}}$ tester före och efter träningsintervention på 8 veckor med översikt över genomförd träning. Dessa resultat visade på att långa intervaller vid funktionell tröskel, I4 förbättrar $\text{VO}_{2\text{max}}$ mer än vad vanlig traditionell uthållighetsträning där träning av AT genomförs vid I3 och intervaller vid I5.

Försökspersonerna i detta projekt hade i genomsnitt en förbättring av $\text{VO}_{2\text{max}}$ med $4,0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (6,7%) efter träningsinterventionens 8 veckor. Orsaken bakom denna studies ökning i $\text{VO}_{2\text{max}}$ är alltså troligtvis ett direkt resultat av en förbättrad SV hos utövarna. Hos vältränade utövare har det visat sig att SV kan stiga linjärt ända upp till $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Zhou et al. 2001). Ju mer stimuli SV kan få genom optimal fyllning av hjärtat, desto större förbättring av $\text{VO}_{2\text{max}}$. SV reduceras genom ökat perifert motstånd (Shepard 1990; Sutton 1992). Helgerud et al. (2007) visade att förbättring av $\text{VO}_{2\text{max}}$ är en direkt funktion av en förbättrad SV som resulterar i en förbättrad arbetskonomi.

Sedan SV kan stiga linjärt ända upp till $\text{VO}_{2\text{max}}$ hos vältränade utövare borde det teoretiskt sett betyda att träning nära

VO_{2max} , så kallad I5, borde ge mest stimuli på SV. Resultaten i denna studie motstrider detta och orsaken kan tänkas vara att en så pass hög hastighet som utövaren måste hålla på arbetet för att vara i I5 zonen kräver ett högt tryck i muskelkontraktionerna vilket kan klämma av blodkärlen. Ökat perifert motstånd minskar tiden blodet har kontakt med muskeln, något som leder till att syret får svårare att diffusera över i muskeln. Det ökade perifera motståndet kommer skicka tillbaka en rekyl till hjärtat som leder till reducerad SV och därmed ökad hjärtfrekvens. Perifert motstånd leder till minskad venös retur, som Shepard (1990) understryker, leder till en reducerad SV. Det perifera motståndet i sin tur leder till att laktat hopas upp i musklerna och muskeln kan tvingas arbeta anaeroft. Om muskeln inte klarar av att återfå en balans mellan laktatproduktion och elimination genom att reducera det perifera motståndet genom för exempel en lång nog avspänningsfas för blodgenomströmning, leder det till att muskeln surnar, den venösa returen reduceras, SV reduceras, vilket minskar stimuli på SV och därmed effekten på VO_{2max} . Något som understryks av Clausen (1976) och Saltin et al. (1976) i sina studier där de visade på att VO_{2max} avhänger förmåga till att reducera motståndet mot blodströmmen genom musklerna. Genom att FP i denna studie

låg på en arbetsbelastning av funktionell tröskel, I4, ledde det till att det var likavikt mellan elimination och produktion av LA^- vilket såg till att det perifera motståndet hölls på en nivå så att SV kunde stiga linjärt utan begränsning och ge stimuli under längre tid men på en fortsatt hög nivå. Detta i enighet med Sandbakk et al. (2012) som indikerar att det kan vara fördelaktigt för uthållighetsidrottare att minska intensiteten något samtidigt som intervallens varaktighet förlängs för optimal utveckling av VO_{2max} . Något som Seiler et al. (2011) också fann hos motionscyklisterna, att 32 minuters arbete vid 90 % av HF_{max} ledde till en större förbättring av de aeroba egenskaperna än vad 16 minuter vid 94 % av HF_{max} . I och med det att FP i vårt projekt tog ner intensiteten på intervallerna från I5 till funktionell tröskel där trycket på de aeroba egenskaperna inte blir lika högt kan det i sin tur kanske även ge möjlighet till en förbättrad VO_{2max} genom perifera förbättringar på muskelnivå till exempel fler kapillärer, mitokondrier och aeroba enzymfunktioner, faktorer som enligt Basset & Howley (2000) och Joyner & Coyle (2008) kan länkas upp mot en större utnyttjning av syre vid tävlingshastighet hos uthållighetsidrottare.

Det kan alltså vara så att intervallträning i I5 genomförs under en för kort varighet

med krav till en för lång återhämtningstid efter träningen för att vara optimal i att förbättra VO_{2max} .

Seiler & Kjerland (2006) understryker att det är oklart hur volymer av väldigt höga intensiteter med kort dragtid påverkar den totala stresspåverkan hos en uthållighetsidrottare. Det faktum att FP i denna försöksperiod hade fokus på att intervallerna skulle genomföras med en så jämn snitthastighet eller tid per runda, istället för att fokusera på pulsen kan ha fört till att upplevelsen av första intervalldraget blev relativt lätt. Detta i sin tur gjorde troligtvis att den psykologiska stressen inför de resterande intervalldragen uteblev då en känsla av mästring troligtvis uppstod hos utövarna då den fysiologiska påfrestningen upplevdes som genomförbar. Detta leder till en större möjlighet att hålla på under en längre varaktighet och en känsla av motivation till att genomföra fler intervallpass. Ökningen av VO_{2max} hos FP i denna studien är en dubbelt så stor ökning av VO_{2max} än vad som normalt är väntat per år (Rusko 1987), som genomsnittlig framgång, för många utövare om man ser över en 5-10 års period med traditionell uthållighetsträning.

Denna traditionella träningsmodell (Seiler & Kjerland 2006) som FP i denna studie tidigare tränat efter under lång tid innan pretestet utan någon framgång av VO_{2max} ,

var av samma traditionella träningsupplägg som KG följde under denna studies 8 veckor där förbättring av VO_{2max} uteblev.

Det näst viktigaste fyndet i denna undersökning var att KG inte hade framgång i VO_{2max} eller i någon av de andra fysiologiska parametrarna. Detta kan tänkas bero på att KG tröskelträning genomfördes i I3, något som utefter våra resultat kan se ut som har en för liten stimuli på SV (med för kort varighet och för låg intensitet) för att ha någon större inverkan på VO_{2max} . KG genomförde även intervallträningarna i I5, som tidigare diskuterat, kan leda till en för kort tid med optimal fyllning av hjärtat som leder till en mindre stimuli av SV än träning i I4.

Trots att Sandbakk et al. (2012) inte fann någon större skillnad i förbättring av VO_{2max} mellan korta intervaller i I5 jämfört med långa intervaller i I4 visar det sig att försökspersonerna i Sandbakk et al.s (2012) tränade en betydligt mindre mängd med intervall jämfört med FP i denna studie. Det skiljer faktiskt i snitt ett intervallpass per vecka i snitt mellan de båda studierna.

Sandbakk et al. (2012) visade dock på att långa intervaller vid I4 är mer effektiv i att förbättra uthållighetsprestationer och syreupptag vid ventilationströskeln (VO_{2VT}) än vad kortare intervaller vid I5

göt hos juniorlängdskidåkare. I vårt projekt genomfördes inga tester av (VO_2VT) eller prestationsrelaterade tester förutom de pre- och posttester av VO_{2max} på löpband.

Det 3:e viktigaste fyndet i denna undersökning är att FP inte hade någon framgång i löpprestation på VO_{2max} testet, trots att de fick en ökning i VO_{2max} . En begränsning av studien kan vara att VO_{2max} blev testat i löpning å inte i skidåkning då tidigare studier (Holmberg 2009) har upptäckt skillnader i fysiologiskt respons i olika tekniker för längdskidåkare. Faktumet att FG inte hade någon framgång i löpprestation från pre- till posttest på VO_{2max} testet kan förklaras vid att FG slutade träna löpning och övergick till skidåkning efter posttestet. Strømme et al (1977) visade en framgång i VO_{2max} på bakgrund av specificitet. Detta styrker testresultatet som FG hade i framgång i VO_{2max} till trots för att de tränade mindre specifikt, och att vikten var oförändrad. VO_{2max} är avhängig specificitet i träning (Strømme et al. 1977) och Ingjer (1991) har funnit en säsongsvariation i syreupptag hos norska landslagsskidåkare där värdet gick ned från november till januari medan FG VO_{2max} värden gick upp under pågående tävlingssäsong.

De förbättringar studien hittade hos FP i litervärde, skidindex och löpindex förklaras med samma orsaksförhållanden som nämnt ovanför (ökad SV, som ett resultat av reducerat perifert motstånd osv.).

Konklusion och praktiska konsekvenser

Data i denna undersökning indikerar att en polariserad regim med långa intervaller vid funktionell tröskel mer effektiv i att förbättra VO_{2max} än vanlig traditionell uthållighetsträning hos kvinnliga längdskidåkare på nationell nivå. Detta innebär att framtida längdskidåkningsträning bör pröva ut denna typ av träning i en större skala. Men vidare forskning på flera försökspersoner, manliga utövare, atleter på en högre nivå, andra typer av uthållighetsidrottare och interventioner av denna typ under längre tid krävs. Även forskning på hur denna typ av träning påverkar prestation vore ett intressant område för vidare forskning. Detta försök understöttar att det inte finns utövare som inte har effekt av aerob uthållighetsträning, det handlar om att utövare tränar fel om framgång på VO_{2max} uteblir.

Litteraturlista

-Åstrand P-O, Dahl H A, Rodahl K (2003). Textbook of Work Physiology, MacGraw-Hill, New York.

- Bassett D R, Howley E T (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 32:70-84.

-Billat L V (2001). Interval training for performance : a scientific and empirical practice. *Sports Med* 2001 (1).

-Billat V L, Demarle A, Slawinski J, Paiva M, Koralsztejn JP (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Med Sci Sports Exerc* 33: 2089-2097.

-Borg G, Hassmen P och Lagerström M (1987). Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, Volume 56, Issue 6, pp 679-685.

-Bouchard C & Rankinen T (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(6; SUPP), S446-S451.

-Bunc V och Heller J (1989). Energy cost of running in similarity trained men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59:178-183.

-Clausen J P (1976). Circulatory adjustments to dynamic exercise and effect of physical training in normal subjects and in patients with coronary artery disease. *Progress in cardiovascular diseases*, 18(6), 459.

-Coyle E F (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc Sport Sci Rev*: 23 :25-63.

-Denis C, Dormois D, Lacour J R (1984). Endurance training, VO₂ max and OBLA: a longitudinal study of two different age groups. *Int J Sports Med* 5: 167-173.

-Di Prampero P E, Atcho G, Brückner C och Moya C (1986). The energetics of endurance running. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55: 259-266.

-Esteve-Lanao, Foster C, Seiler S och Lucia A (2007). A Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J Strength Cond Res* 21: 943-949.

- Farrell P A et al. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medecine Science in Sports and Exercise*, nr. 11.
- Fiskerstrand A och Seiler K S (2004). Training och performance characteristics among Norwegian international rowers 1970-2001. *Scand J Med Sci Sports* 14: 303-310.
- Frøyd C, Madsen Ø, Tønnessen E, Wisnes A R och Aasen S (red.) (2005). Utholdenhet-trening som gir resutater. Akilles 1.upplaga.
- Gaskill S E (1988). *Fitness Cross-Country Skiing*. Champaign IL: Human Kinetics.
- Gaskill S E, Serfass R C, Bacharach D W, Kelly J M (1999). Responses to training in cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc* 31: 1211-1217.
- Gaskill S E, Walker A J, Serfass R A, Bouchard C, Gagnon J, Rao D C, Skinner J S, Wilmore J H och Leon A S (2001). Changes in ventilatory threshold with exercise training in a sedentary population: the HERITAGE Family Study. *Int J Sports Med* 22 (8): 586-92.
- Gjerset G M. (2006). Effekt av trening på mestring hos kreftpasienter: en randomisert kontrollert studie av et 14-ukers fleksibelt hjemmebasert treningsprogram hos yngre og middelaldrende kreftpasienter etter cellegiftbehandling (Doctoral dissertation, GM Gjerset).
- Hawley J A & Stepto N K (2001). Adaptions to training in endurance cyclists: implications for performance. *Sports Med* 31: 511-520.
- Helgerud J, Ingjer F och Strømme S B (1990). Sex differences in performance-matched matathon runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 61:433-439.
- Helgerud J (1994). Maximal oxygen uptake, anaerobe uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performances level in marathons. *Eur. J. Appl. Physiol.* 68:155-161.
- Helgerud J, Engen L C, Wisløff U och Hoff J (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:1925-1931.
- Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjorth N, Bach R och Hoff J (2007). Aerobic High-Intensity Intervals Improve VO2 max More Than Moderate Training. *Med Sci Sports Exerc. Vol.* 39 no. 4 pp. 665-671.

- Higgingbotham M B, Morris K G, Williams R S, McHale P A, Coleman R E och Cobb F R (1986). Regulation of stroke volume during submaximal and maximal upright exercise in normal man. *Circ.Res* 58:281-291.
- Hoff J, Gran A och Helgerud J (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 12:288-295.
- Hoffmann M D, Clifford P S (1991). Physiological aspects of competitiv cross-country skiing.
- Holmberg H-C, Rosdahl H and Svedenhag J (2007). Lung function, arterial saturation and oxygen uptake in elite cross country skiers: influence of exercise mode. *Scand J Med Sci Sports* 17: 437-444.
- Holmberg H-C. (2009). The competitive XC skier-from an integrative perspective.
- Ingjer F (1991). Maximal oxygen uptake as an predictor of performance ability in woman and men elite cross-country skiers. *Scand Med Sport Exerc* 1:25-30.
- Jooste P L, Van Linde A, Shapiro C M och Strydom N B (1981). Metabolism of ultra-long-distance running. Biochemistry of exercise, IV-A (Poortmans J, Niset G, red). Baltimore: University Park Press.
- Joyner M J och Coyle E F (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol* 586: 35-44.
- Katch V L, MacArdle W D and Katch F I. (2011). Essentials of Exercise Physiology Fourth Edition.
- Kinermann W, Simon G, Keul J (1979). The significance of the aerobic-anaerobic determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol* 42: 25-34.
- Larsson P, Olofsson P, Jakobsson E, Burlin L och Henriksson-Larsén K (2002). Physiological predictors of performance in cross-country skiing from treadmill tests in male and female subjects. *Scand J Med Sci Sports* 12: 347-353.
- Laursen P B and Jenkins D G (2002). The Scientific Basis for High Intensity Interval Training. *Sports Med* 32 (1): 53-73.

- Londeree B R (1997). Effect of training on lactate/ventilator thresholds: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 29: 837-843.
- Mahood N V, Kenefick R W, Kertzer R och Quinn T J (2001). Physiological determinants of cross-country ski racing performance. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1379-1384.
- Mc Millian K, Helgerud J, Macdonald R and Hoff J (2005). Physiological adaptations to soccer-specific endurance training in professional youth soccer players. *Br. J. Sports Med.* 39: 273-277. *Sports Exerc* (1): 128-138.
- Mygind E, Andersen L B, Rasmussen B (1994) Blood lactate and respiratory variables in elite cross-country skiing at racing speeds. *Scand J Med Sci Sports* 4: 243-251.
- Pate R R och Kriska A (1984). Physiological basis of the sex difference in Cardiorespiratory endurance. *Sports Med* 1984, 1:87-98.
- Pollock M L (1977). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. *Part 1: cardiorespiratory aspects. Ann. N. Y. Acad. Sci.* 301:310-322.
- Rognmo Ø, Hetland E, Helgerud J, Hoff J och Slørdahl S (2004). High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *Eur. J. Cardiov. Prev. Rehabil.* 11:216-222.
- Rusko H (1987). The effect of training on aerobic power characteristics of young cross-country skiers. *Journal of sports sciences*, 5(3), 273-286.
- Rusko H (2003). Cross country skiing. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK.
- Saltin B och medarbeidere (1976). The nature of training response. Pheripheral and central adaptations to one leg exercise. *Acta Physiol Scand* 96:289-305.
- Saltin B (1990). Maximal oxygen uptake: limitations and malleability. In: International Perspectives in Exercise Physiology, Nazar K and Terjung R L (eds.). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, pp. 26-40.
- Sandbakk Ö, Welde B och Holmberg H-C (2011). Endurance training and sprint performance in elite junior cross-country skiers. *J Strength Cond Res* 25: 1299-1305.

- Sandbakk Ø, Sandbakk S B, Ettema G and Welde B. (2012). Effects of intensity and duration in aerobic high-intensity interval training in highly-trained junior cross-country skiers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*.
- Schumacker Y O, Mueller P (2002). The 4000-m team pursuit cycling world record: theoretical and practical aspects. *Med Sci Sports Exerc.* 34: 1029-1036.
- Seiler K S och Kjerland GÖ (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an “optimal” distribution? *Scand J Med Sci Sports* 16: 49-56.
- Seiler K S (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Phys Perf* 5: 276-291.
- Seiler S, Jöranson K, Olesen B V och Hetlelid K J (2011). Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med Sci Sports*.
- Shephard R J (1990). Fitness in special populations. *Human Kinetics*, Champaign, Illinois.
- Steinacker J M (1993). Physiological aspects of training in rowing. *Int J Sports Med.* 14: 3-10.
- Steinacker J M, Lormes W, Lehmann M och Altenburg D (1998). Training of rowers before world championships. *Med Sci Sports Exerc.* 30: 1158-1163.
- Strömme S B, Ingjer F, Meen H D (1977). Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *J Apply Physiol* 42 (6): 833-837.
- Sutton J R (1992). Limitations to maximal oxygen uptake. *Sports Med* 13: 127-133.
- Thomas T R, Andeiran S B and Etheridge G L (1984). Effects of different running programs on VO₂max, percent fat, and plasma lipids. *Can. J. Sports Sci* 9:55-62.
- Timmons J A. (2011). Variability in training-induced skeletal muscle adaptation. *Journal of Applied Physiology*, 110(3), 846-853.
- Torvik P Ø (2000). Blood lactate differences in running and roller skiing skating technique, *ecss 2000* s 747.

-Wagner P D (1996). A theoretical analysis of factors determining VO_2 max at sea level and altitude. *Respir. Physiol.* 106:329-343.

-Wenger H A och Bell G J (1986). The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports med* 3:346-356.

-Wisløff U och Helgerud J (1997). Methods for evaluating peak oxygen uptake and anaerobic threshold in upper body of cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*.

-Zhou B, Conlee R K, Jensen R, Fellingahm G W, George J D and Fisher A G (2001). Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*